

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2000-183451  
(P2000-183451A)

(43) 公開日 平成12年6月30日 (2000.6.30)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームコード (参考)
H 0 1 S 5/10 5/34		H 0 1 S 3/18	6 4 0 5 F 0 7 3 6 7 6

審査請求 未請求 請求項の数9 OL (全12頁)

(21) 出願番号 特願平10-356330

(22) 出願日 平成10年12月15日 (1998.12.15)

(71) 出願人 000001889

三洋電機株式会社

大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号

(72) 発明者 林 伸彦

大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三洋電機株式会社内

(72) 発明者 太田 潔

大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三洋電機株式会社内

(74) 代理人 100098305

弁理士 福島 祥人

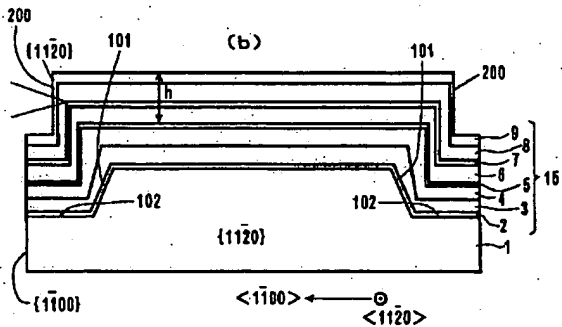
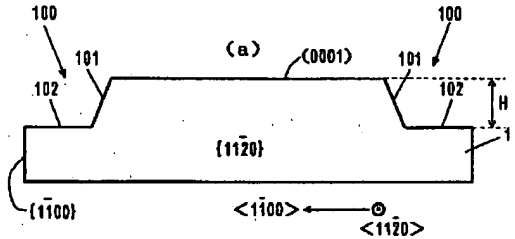
Fターム (参考) 5F073 AA04 AA13 AA20 AA45 AA74  
CA07 CB05 DA25 DA31 DA35

(54) 【発明の名称】 半導体レーザ素子およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 基板の表面に対して垂直な共振器面を容易に形成することが可能でかつ歩留りが向上された窒化物系半導体レーザ素子およびその製造方法を提供することである。

【解決手段】 サファイア基板1の(0001)面に、サファイア基板1の<11-20>方向に平行な側面101および底面102を有する段差部100を形成する。サファイア基板1の上面ならびに段差部100の側面101上および底面102上に、MQW発光層7を含むGaN系半導体層15をエピタキシャル成長させる。GaN系半導体層15の結晶成長中に、段差部100の側面101上にサファイア基板1の(0001)面に対して完全に垂直な{11-20}面が形成される。段差部100の側面101上のGaN系半導体層15の{11-20}面を共振器面200として用いる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 サファイア基板の〈0001〉面にそのサファイア基板の〈11-20〉方向に平行な側面を有する段差部が形成され、前記サファイア基板の面上ならびに前記段差部の側面上に、発光層を含みかつホウ素、ガリウム、アルミニウムおよびインジウムの少なくとも1つを含む窒化物系半導体層が形成され、前記段差部の側面上の前記窒化物系半導体層の表面が共振器面を構成することを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項2】 基板上にホウ素、ガリウム、アルミニウムおよびインジウムの少なくとも1つを含む第1の窒化物系半導体層が形成され、前記第1の窒化物系半導体層の〈0001〉面にその第1の窒化物系半導体層の〈1-100〉方向に平行な側面を有する段差部が形成され、前記第1の窒化物系半導体層の面上ならびに前記段差部の側面上に、発光層を含みかつホウ素、ガリウム、アルミニウムおよびインジウムの少なくとも1つを含む第2の窒化物系半導体層が形成され、前記段差部の側面上の前記第2の窒化物系半導体層の表面が共振器面を構成することを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項3】 前記基板はサファイア基板であり、前記段差部の側面は前記サファイア基板の〈11-20〉方向に平行であることを特徴とする請求項2記載の半導体レーザ素子。

【請求項4】 基板上にホウ素、ガリウム、アルミニウムおよびインジウムの少なくとも1つを含む第1の窒化物系半導体層が形成され、前記第1の窒化物系半導体層の〈0001〉面にその第1の窒化物系半導体層の〈1-100〉方向に平行な一辺を有する絶縁膜が形成され、前記絶縁膜の領域を除く前記第1の窒化物系半導体層の〈0001〉面に、発光層を含みかつホウ素、ガリウム、アルミニウムおよびインジウムの少なくとも1つを含む第2の窒化物系半導体層が形成され、前記絶縁膜の前記一辺に沿った前記第2の窒化物系半導体層の端面が共振器面を構成することを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項5】 前記基板はサファイア基板であり、前記絶縁膜の前記一辺は前記サファイア基板の〈11-20〉方向に平行であることを特徴とする請求項4記載の半導体レーザ素子。

【請求項6】 前記基板は炭化ケイ素基板であり、前記段差部の側面は前記炭化ケイ素基板の〈1-100〉方向に平行であることを特徴とする請求項2または4記載の半導体レーザ素子。

【請求項7】 サファイア基板の〈0001〉面にそのサファイア基板の〈11-20〉方向に平行な側面を有する段差部を形成し、前記サファイア基板の面上ならびに前記段差部の側面上に、発光層を含みかつホウ素、ガリウム、アルミニウムおよびインジウムの少なくとも1つを含む窒化物系半導体層をエピタキシャル成長させる

ことを特徴とする半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項8】 基板上にホウ素、ガリウム、アルミニウムおよびインジウムの少なくとも1つを含む第1の窒化物系半導体層を形成し、前記第1の窒化物系半導体層の〈0001〉面にその第1の窒化物系半導体層の〈1-100〉方向に平行な側面を有する段差部を形成し、前記第1の窒化物系半導体層の面上ならびに前記段差部の側面上に、発光層を含みかつホウ素、ガリウム、アルミニウムおよびインジウムの少なくとも1つを含む第2の窒化物系半導体層をエピタキシャル成長させることを特徴とする半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項9】 基板上にホウ素、ガリウム、アルミニウムおよびインジウムの少なくとも1つを含む第1の窒化物系半導体層を形成し、前記第1の窒化物系半導体層の〈0001〉面にその第1の窒化物系半導体層の〈1-100〉方向に平行な一辺を有する絶縁膜を形成し、前記絶縁膜の領域を除く前記第1の窒化物系半導体層の〈0001〉面に、発光層を含みかつホウ素、ガリウム、アルミニウムおよびインジウムの少なくとも1つを含む第2の窒化物系半導体層をエピタキシャル成長させることを特徴とする半導体レーザ素子の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、BN（窒化ホウ素）、GaN（窒化ガリウム）、AlN（窒化アルミニウム）もしくはInN（窒化インジウム）またはこれらの混晶等のIII-V族窒化物系半導体（以下、窒化物系半導体と呼ぶ）からなる化合物半導体層を有する半導体レーザ素子およびその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、青色または紫色の光を発する半導体レーザ素子としてGaN系半導体レーザ素子の実用化が進んでいる。GaN系半導体レーザ素子の製造の際には、GaNからなる基板が存在しないため、一般的には、サファイア（ $Al_2O_3$ ）基板上にGaN系半導体層をエピタキシャル成長させている。

【0003】しかしながら、以下に示すように、サファイア基板とGaN系半導体層とでへき開しやすい面方位が一致しない。図10はサファイア基板およびGaN系半導体層の結晶方位の関係を示す図である。図10において、実線の矢印はサファイア基板の結晶方位を示し、破線の矢印はGaN系半導体層の結晶方位を示す。

【0004】図10に示すように、サファイア基板上に形成されたGaN系半導体層のa軸およびb軸はサファイア基板のa軸およびb軸に対して30度ずれている。

【0005】図11はサファイア基板上に形成されたGaN系半導体層からなる半導体レーザ素子の概略斜視図である。

【0006】図11において、サファイア基板61の〈0001〉面上にGaN系半導体層70が形成されて

いる。ストライプ状の電流注入領域71は、GaN系半導体層70の〈1000〉方向に平行となっている。この場合、GaN系半導体層70の{1-100}面はサファイア基板61の{1-100}面に対して30度傾いている。サファイア基板61およびGaN系半導体層70ともに{1-100}面でへき開しやすい。

【0007】このように、サファイア基板61とGaN系半導体70とでへき開方向がずれているため、GaN系半導体レーザ素子を製造する場合に、GaAs基板上に形成される赤色光または赤外光を発生するGaAs系半導体層のようにへき開法により共振器面を形成することが困難となる。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】そこで、GaN系半導体レーザ素子の第1の製造方法として、GaN系半導体層とへき開方向が一致するSiC基板上にGaN系半導体層をエピタキシャル成長させる方法が提案されている。しかしながら、SiC基板とGaN系半導体層とで熱膨張係数が大きく異なるため、GaN系半導体層にクラックが発生しやすい。それにより、半導体レーザ素子の特性が劣化する。また、SiC基板の価格が高いという問題もある。

【0009】GaN系半導体レーザ素子の第2の製造方法として、サファイア基板上にGaN系半導体層をエピタキシャル成長させた後、RIE（反応性イオンビームエッチング）法、RIE（反応性イオンエッチング）法等のドライエッチング法により共振器面を形成する方法がある。

【0010】図12はドライエッチングにより共振器面を形成する従来のGaN系半導体レーザ素子の製造方法を示す模式的工程断面図である。

【0011】まず、図12(a)に示すように、サファイア基板21の(0001)面上に、AlGaNバッファ層22、i-GaN層23、n-GaN層24、n-InGaNクラック防止層25、n-AlGaNクラッド層26、InGaN発光層27、p-AlGaNクラッド層28およびp-GaNコンタクト層29を順に成長させる。

【0012】その後、図12(b)に示すように、RIE法、RIE法等のドライエッチング法によりp-GaNコンタクト層29からn-AlGaNクラッド層26よりも基板側までをエッチングし、サファイア基板21に対してほぼ垂直なエッチング側面40を形成する。このエッチング側面40はサファイア基板21の例えば〈11-20〉方向に平行である。このエッチング側面40を共振器面として用いる。

【0013】しかしながら、図12に示した製造方法においては、エッチング側面40がサファイア基板21の表面に対して0~5°程度傾斜しやすい。エッチング側面40がサファイア基板21の表面に対して傾斜した場

合、共振器内でレーザ発振する光が共振器面で下方に反射されることになる。その結果、半導体レーザ素子の外部損失が増大し、しきい値電流が増大する。また、エッチング条件のばらつきによりエッチング側面40の傾斜角度にばらつきが生じる。その結果、歩留りが低下する。

【0014】本発明の目的は、基板の表面に対して垂直な共振器面を容易に形成することが可能でかつ歩留りが向上された窒化物系半導体レーザ素子およびその製造方法を提供することである。

【0015】

【課題を解決するための手段および発明の効果】第1の発明に係る半導体レーザ素子は、サファイア基板の{0001}面にそのサファイア基板の〈11-20〉方向に平行な側面を有する段差部が形成され、サファイア基板の上面上ならびに段差部の側面上に、発光層を含みかつホウ素、ガリウム、アルミニウムおよびインジウムの少なくとも1つを含む窒化物系半導体層が形成され、段差部の側面上の窒化物系半導体層の表面が共振器面を構成するものである。

【0016】本発明に係る半導体レーザ素子においては、サファイア基板の上面上ならびに段差部の側面上に発光層を含む窒化物系半導体層が形成されている。サファイア基板の段差部の側面上に成長する窒化物系半導体層の表面の面方位は{11-20}面であり、窒化物系半導体層の{11-20}面はサファイア基板の{0001}面に対して垂直に成長する。したがって、サファイア基板の段差部の側面上の窒化物系半導体層の表面によりサファイア基板の上面上の窒化物系半導体層の発光層に対して垂直な共振器面が形成される。その結果、スロープ効率が高く、しきい値電流が低い窒化物系半導体レーザ素子が実現される。

【0017】また、窒化物系半導体層の成長中時に自然に形成される{11-20}面を共振器面として用いているので、サファイア基板の表面に対して垂直な共振器面を容易に形成することができるとともに、歩留りが向上する。

【0018】第2の発明に係る半導体レーザ素子は、基板上に、ホウ素、ガリウム、アルミニウムおよびインジウムの少なくとも1つを含む第1の窒化物系半導体層が形成され、第1の窒化物系半導体層の{0001}面にその第1の窒化物系半導体層の〈1-100〉方向に平行な側面を有する段差部が形成され、第1の窒化物系半導体層の上面上ならびに段差部の側面上に、発光層を含みかつホウ素、ガリウム、アルミニウムおよびインジウムの少なくとも1つを含む第2の窒化物系半導体層が形成され、段差部の側面上の第2の窒化物系半導体層の表面が共振器面を構成するものである。

【0019】本発明に係る半導体レーザ素子においては、基板上に形成された第1の窒化物系半導体層の上面

上ならびに段差部の側面上に発光層を含む第2の窒化物系半導体層が形成されている。第1の窒化物系半導体層の段差部の側面上に成長する第2の窒化物系半導体層の表面の面方位は $\{11-20\}$ 面であり、第2の窒化物系半導体層の $\{11-20\}$ 面は第1の窒化物系半導体層の $\{0001\}$ 面に対して垂直に成長する。したがって、第1の窒化物系半導体層の段差部の側面上に形成される第2の窒化物系半導体層の表面により第1の窒化物系半導体層の上面上の第2の窒化物系半導体層の発光層に対して垂直な共振器面が形成される。その結果、スロープ効率が高く、しきい値電流が低い窒化物系半導体レーザー素子が実現される。

【0020】また、第2の窒化物系半導体層の成長時に自然に形成される $\{11-20\}$ 面を共振器面として用いているので、基板の表面に対して垂直な共振器面を容易に形成することができるとともに、歩留りが向上する。

【0021】特に、基板はサファイア基板であり、段差部の側面はサファイア基板の $\langle 11-20 \rangle$ に平行であってもよい。また、基板は炭化ケイ素基板であり、段差部の側面は炭化ケイ素基板の $\langle 1-100 \rangle$ 方向に平行であってもよい。

【0022】第3の発明に係る半導体レーザー素子は、基板上にホウ素、ガリウム、アルミニウムおよびインジウムの少なくとも1つを含む第1の窒化物系半導体層が形成され、第1の窒化物系半導体層の $\{0001\}$ 面にその第1の窒化物系半導体層の $\langle 1-100 \rangle$ 方向に平行な一辺を有する絶縁膜が形成され、絶縁膜の領域を除く第1の窒化物系半導体層の $\{0001\}$ 面に、発光層を含みかつホウ素、ガリウム、アルミニウムおよびインジウムの少なくとも1つを含む第2の窒化物系半導体層が形成され、絶縁膜の一辺に沿った第2の窒化物系半導体層の端面が共振器面を構成するものである。

【0023】本発明に係る半導体レーザー素子においては、基板上に形成された第1の窒化物系半導体層上にその第1の窒化物系半導体層の $\langle 1-100 \rangle$ 方向に平行な一辺を有する絶縁膜が形成され、絶縁膜の領域を除く第1の窒化物系半導体層の $\{0001\}$ 面に発光層を含む第2の窒化物系半導体層が形成されている。絶縁膜の一辺に沿って第1の窒化物系半導体層の $\{0001\}$ 面上に成長する第2の窒化物系半導体層の端面の面方位は $\{11-20\}$ 面であり、第2の窒化物系半導体層の $\{11-20\}$ は第1の窒化物系半導体層の $\{0001\}$ 面に対して垂直に成長する。したがって、絶縁膜の一辺に沿って第1の窒化物系半導体層の $\{0001\}$ 面上に形成される第2の窒化物系半導体層の端面により第1の窒化物系半導体層の上面上の第2の窒化物系半導体層の発光層に対して垂直な共振器面が形成される。その結果、スロープ効率が高く、しきい値電流が低い窒化物系半導体レーザー素子が実現される。

【0024】また、第2の窒化物系半導体層の成長時に

自然に形成される $\{11-20\}$ 面を共振器面として用いているので、基板の表面に対して垂直な共振器面を容易に形成することができるとともに、歩留りが向上する。

【0025】特に、基板はサファイア基板であり、絶縁膜の一辺はサファイア基板の $\langle 11-20 \rangle$ 方向に平行であってもよい。また、基板は炭化ケイ素基板であり、絶縁膜の一辺は炭化ケイ素基板の $\langle 1-100 \rangle$ 方向に平行であってもよい。

【0026】第4の発明に係る半導体レーザー素子の製造方法は、サファイア基板の $\{0001\}$ 面にそのサファイア基板の $\langle 11-20 \rangle$ 方向に平行な側面を有する段差部を形成し、サファイア基板の上面上ならびに段差部の側面上に、発光層を含みかつホウ素、ガリウム、アルミニウムおよびインジウムの少なくとも1つを含む窒化物系半導体層をエピタキシャル成長させるものである。

【0027】本発明に係る半導体レーザー素子の製造方法においては、サファイア基板の上面上ならびに段差部の側面上に発光層を含む窒化物系半導体層が形成される。サファイア基板の段差部の側面上に成長する窒化物系半導体層の表面の面方位は $\{11-20\}$ 面であり、窒化物系半導体層の $\{11-20\}$ 面はサファイア基板の $\{0001\}$ 面に対して垂直に成長する。したがって、サファイア基板の段差部の側面上の窒化物系半導体層の表面によりサファイア基板の上面上の窒化物系半導体層の発光層に対して垂直な共振器面を形成することができる。

【0028】このように、窒化物系半導体層のエピタキシャル成長時に自然に形成される $\{11-20\}$ 面を共振器面として用いることができるので、サファイア基板の表面上に対して垂直な共振器面を容易に形成することができる。その結果、スロープ効率が高く、しきい値電流が低い窒化物系半導体レーザー素子を容易に製造することができるとともに、歩留りが向上する。

【0029】第5の発明に係る半導体レーザー素子の製造方法は、基板上にホウ素、ガリウム、アルミニウムおよびインジウムの少なくとも1つを含む第1の窒化物系半導体層を形成し、第1の窒化物系半導体層の $\{0001\}$ 面にその第1の窒化物系半導体層の $\langle 1-100 \rangle$ 方向に平行な側面を有する段差部を形成し、第1の窒化物系半導体層の上面上ならびに段差部の側面上に、発光層を含みかつホウ素、ガリウム、アルミニウムおよびインジウムの少なくとも1つを含む第2の窒化物系半導体層をエピタキシャル成長させるものである。

【0030】本発明に係る半導体レーザー素子の製造方法においては、基板上に形成された第1の窒化物系半導体層の上面上ならびに段差部の側面上に発光層を含む第2の窒化物系半導体層が形成される。第1の窒化物系半導体層の段差部の側面上に成長する第2の窒化物系半導体層の表面の面方位は $\{11-20\}$ 面であり、第2の窒化物系半導体層の $\{11-20\}$ 面は第1の窒化物系半導体層の $\{0001\}$ 面に対して垂直に成長する。したがっ

て、第1の窒化物系半導体層の段差部の側面上に形成される第2の窒化物系半導体層の表面により第1の窒化物系半導体層の上面上の第2の窒化物系半導体層の発光層に対して垂直な共振器面を形成することができる。

【0031】このように、第2の窒化物系半導体層のエピタキシャル成長時に自然に形成される{11-20}面を共振器面として用いることができるので、基板の表面に対して垂直な共振器面を容易に形成することができる。その結果、スロープ効率がよく、しきい値電流が低い窒化物系半導体レーザー素子を容易に製造することができるとともに、歩留りが向上する。

【0032】第6の発明に係る半導体レーザー素子の製造方法は、基板上にホウ素、ガリウム、アルミニウムおよびインジウム少なくとも1つを含む第1の窒化物系半導体層を形成し、第1の窒化物系半導体層の{0001}面にその第1の窒化物系半導体層の<1-100>方向に平行な一辺を有する絶縁膜を形成し、絶縁膜の領域を除く第1の窒化物系半導体層の{0001}面に、発光層を含みかつホウ素、ガリウム、アルミニウムおよびインジウム少なくとも1つを含む第2の窒化物系半導体層をエピタキシャル成長させるものである。

【0033】本発明に係る半導体レーザー素子の製造方法においては、基板上に形成された第1の窒化物系半導体層上にその第1の窒化物系半導体層の<1-100>方向に平行な一辺を有する絶縁膜が形成され、絶縁膜の領域を除く第1の窒化物系半導体層の{0001}面に発光層を含む第1の窒化物系半導体層が形成される。絶縁膜の一辺に沿って第1の窒化物系半導体層の{0001}面上に成長する第2の窒化物系半導体層の端面の面方位は{11-20}面であり、第2の窒化物系半導体層の{11-20}面は第1の窒化物系半導体層の{0001}面に対して垂直に成長する。したがって、絶縁膜の一辺に沿って第1の窒化物系半導体層の{0001}面上に形成される第2の窒化物系半導体層の端面により第1の窒化物系半導体層の上面上の第2の窒化物系半導体層の発光層に対して垂直な共振器面を形成することができる。

【0034】このように、第2の窒化物系半導体層のエピタキシャル成長時に自然に形成される{11-20}面を共振器面として用いることができるので、基板の表面に対して垂直な共振器面を容易に形成することができる。その結果、スロープ効率がよく、しきい値電流が低い窒化物系半導体レーザー素子を容易に製造することができるとともに、歩留りが向上する。

【0035】

【発明の実施の形態】図1(a)、(b)は本発明の第1の実施例における半導体レーザー素子の製造方法を示す模式的工程断面図である。なお、図1は半導体レーザー素子の共振器面に垂直な方向に沿った断面を示す。また、図2は多重量子井戸発光層のエネルギーバンド構造図で

ある。さらに、図3は本発明の第1の実施例における半導体レーザー素子の共振器面に平行な方向に沿った模式的断面図である。図中、2重丸は紙面に垂直な方向を示す。図3の半導体レーザー素子は、酸化膜ストライプ構造を有する。

【0036】まず、図1(a)に示すように、サファイア基板1の(0001)面上に、RIE法、RIBE法等のドライエッチング法により段差部100を形成する。段差部100の側面101および底面102はサファイア基板1の<11-20>方向に平行とする。このエッチングにおいては、段差部100の側面101が必ずしもサファイア基板1の(0001)面に対して完全に垂直である必要はない。ただし、側面101の傾斜が大きい場合には、後の工程でGa<sub>0.9</sub>N系半導体層の{11-20}面が形成されるまでにある程度の厚みのGa<sub>0.9</sub>N系半導体層を成長させる必要があるため、側面101の傾斜をできるだけ小さく抑えることが望ましい。

【0037】次に、図1(b)に示すように、サファイア基板1の上面上ならびに段差部100の側面101上および底面102上に、厚さ300ÅのアンドープのAlGa<sub>0.9</sub>Nバッファ層2、厚さ2μmのi-GaN層3、厚さ3μmのn-GaN層4、厚さ0.1μmのn-In<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラック防止層5、厚さ0.7μmのn-Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層6、後述する多重量子井戸発光層(以下、MQW発光層と呼ぶ)7、厚さ0.7μmのp-Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層8、および厚さ0.2μmのp-GaNコンタクト層9を順にエピタキシャル成長させる。以下、AlGa<sub>0.9</sub>Nバッファ層2からp-GaNコンタクト層9までをGa<sub>0.9</sub>N系半導体層15と呼ぶ。

【0038】なお、n型ドーパントとしてはSiを用いて、P型ドーパントとしてはMgを用いる。また、各層の成長方法としては、例えば、MOCVD法(有機金属化学的気相成長法)またはHVPE法(ハイドライド気相成長法)を用いる。

【0039】図2に示すように、MQW発光層7は、厚さ60Åの6つのAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N(X=0.03)量子障壁層81と厚さ30Åの5つのAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N(X=0.13)量子井戸層82とが交互に積層されてなる多重量子井戸構造を含む。その多重量子井戸構造の両面は厚さ0.1μmのGa<sub>0.9</sub>N光ガイド層83で挟まれている。

【0040】なお、図1(a)の工程において、段差部100の高さHは、図1(b)の工程で形成されるn-Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層6からn-GaNコンタクト層9までの厚さh以上に設定する。これにより、段差部100の底面102上に形成されるp-GaNコンタクト層9の上面の位置がサファイア基板1の上面上に形成されるn-Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層6の下面の位置よりも低くなる。

【0041】以上の工程により、Ga<sub>N</sub>系半導体層15の結晶成長中に段差部100の側面101上にGa<sub>N</sub>系半導体層15の{11-20}面が形成される。このGa<sub>N</sub>系半導体層15の{11-20}面は、サファイア基板1の(0001)面に対して完全に垂直に成長する。

【0042】次に、図3に示すように、p-GaNコンタクト層9からn-Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層6までの一部領域をエッチングにより除去し、n-Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層6を露出させる。

【0043】さらに、p-GaNコンタクト層9上の電極形成領域およびn-Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層6の電極形成領域を除いて、電流狭窄を行うためおよびpn接合の露出部を保護するために、p-GaNコンタクト層9の上面、p-GaNコンタクト層9からn-Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層6までの側面ならびにn-Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層6の上面にSiO<sub>2</sub>膜等からなる絶縁膜10を形成する。

【0044】最後に、p-GaNコンタクト層9の露出した電極形成領域上にp電極11を形成し、n-Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層6の露出した電極形成領域上にn電極12を形成する。

【0045】本実施例の半導体レーザ素子の製造方法においては、上記のように、Ga<sub>N</sub>系半導体層15の結晶成長中に、サファイア基板1の段差部100の側面101上に、サファイア基板1の(0001)面に対して完全に垂直な{11-20}面が形成される。したがって、段差部100の側面101上のGa<sub>N</sub>系半導体層15の{11-20}面を共振器面200として用いることが可能となる。

【0046】このように、Ga<sub>N</sub>系半導体層15の結晶成長時に自然に形成される{11-20}面を共振器面200として用いることができるので、結晶成長後のエッチングやへき開等の複雑な工程を用いることなく、サファイア基板1の(0001)面に対して垂直な共振器面200を容易に形成することができる。

【0047】その結果、スロープ効率が高く、しきい値電流が低減されたGa<sub>N</sub>系半導体レーザ素子を容易に得ることができるとともに、歩留りが向上する。

【0048】図4はサファイア基板およびその上に形成されるGa<sub>N</sub>系半導体層の結晶方位の関係を示す図である。

【0049】図4に示すように、サファイア基板およびGa<sub>N</sub>系半導体層はともに六方晶系である。サファイア基板とGa<sub>N</sub>系半導体層とは、結晶方位が30°ずれている。[11-20]方向、[-2110]方向、[-12-10]方向、[-1-120]方向、[2-1-10]方向および[1-210]方向が等価な面方位であり、一般表記<11-20>で表される。また、[10-10]方向、[01-10]方向、[-1100]方向、[-1010]方向、[0-110]方向および[1-100]方向が等価な

面方位であり、一般表記<1-100>で表される。なお、サファイア基板およびGa<sub>N</sub>系半導体層ともに{1-100}面でへき開しやすい。

【0050】図5(a)、(b)は本発明の第2の実施例における半導体レーザ素子の製造方法を示す模式的工程断面図である。なお、図5は半導体レーザ素子の共振器面に垂直な方向に沿った断面を示す。

【0051】まず、図5(a)に示すように、サファイア基板1の(0001)面上に、厚さ300ÅのAlGa<sub>N</sub>バッファ層2および厚さ2μmのi-GaN層3をエピタキシャル成長させる。次に、i-GaN層3に、RIE法、RIE法等のドライエッチング法により段差部300を形成する。段差部300の側面301および底面302はサファイア基板1の<11-20>方向に平行とする。この場合、段差部300の側面301および底面302はi-GaN層3の<10-10>方向と平行になる。このエッチングにおいては、段差部300の側面301は必ずしもサファイア基板1の(0001)面に対して完全に垂直である必要はない。ただし、側面301の傾斜が大きい場合には、後の工程でGa<sub>N</sub>系半導体層の{11-20}面が形成されるまでにある程度の厚みのGa<sub>N</sub>系半導体層を成長させる必要があるため、側面301の傾斜をできるだけ抑えることが望ましい。

【0052】以下、AlGa<sub>N</sub>バッファ層2およびi-GaN層3を第1のGa<sub>N</sub>系半導体層16と呼ぶ。

【0053】次に、図5(b)に示すように、i-GaN層3の上面ならびに段差部300の側面301上および底面302上に、n-GaN層4、n-In<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド防止層5、n-Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層6、MQW発光層7、p-Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層8およびp-GaNコンタクト層9を順にエピタキシャル成長させる。MQW発光層7の構成は、図2に示した構成と同様である。各層3~9の厚さは、図1の各層3~9の厚さと同様である。以下、n-GaN層4からp-GaNコンタクト層9までを第2のGa<sub>N</sub>系半導体層17と呼ぶ。

【0054】以上の工程により、第2のGa<sub>N</sub>系半導体層17の結晶成長中に段差部300の側面301上に第2のGa<sub>N</sub>系半導体層17の{11-20}面が形成される。この第2のGa<sub>N</sub>系半導体層17の{11-20}面は、サファイア基板1の(0001)面および第1のGa<sub>N</sub>系半導体層16の(0001)面に対して完全に垂直に成長する。

【0055】次に、図3に示したように、p-GaNコンタクト層9からn-Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層6までの一部領域をエッチングにより除去し、n-Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層6を露出させる。

【0056】さらに、p-GaNコンタクト層9上の電極形成領域およびn-Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層6の電極形成領域を除いて、電流狭窄を行うためおよびp

n接合の露出部を保護するために、p-GaNコンタクト層9の上面、p-GaNコンタクト層9からn-Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層6までの側面ならびにn-Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層6の上面にSiO<sub>2</sub>膜等からなる絶縁膜10を形成する。

【0057】最後に、p-GaNコンタクト層9の露出した電極形成領域上にp電極11を形成し、n-Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層6の露出した電極形成領域上にn電極12を形成する。

【0058】本実施例の半導体レーザ素子の製造方法においては、上記のように、第2のGaN系半導体層17の結晶成長中に、第1のGaN系半導体層16の段差部300の側面301上に、サファイア基板1の(0001)面および第1のGaN系半導体層16の(0001)面に対して完全に垂直な{11-20}面が形成される。したがって、段差部300の側面301上の第2のGaN系半導体層17の{11-20}面を共振器面200として用いることが可能となる。

【0059】このように、第2のGaN系半導体層17の結晶成長時に自然に形成される{11-20}面を共振器面200として用いることができるので、結晶成長後のエッチングやへき開等の複雑な工程を用いることなく、サファイア基板1の(0001)面および第1のGaN系半導体層16の(0001)面に対して垂直な共振器面200を容易に形成することができる。

【0060】その結果、スロープ効率が高く、しきい値電流が低減された半導体レーザ素子を容易に得ることができるとともに、歩留りが向上する。

【0061】なお、図5の実施例では、基板としてサファイア基板1を用いているが、サファイア基板1の代わりに、SiC基板等の他の基板を用いてもよい。SiC基板を用いる場合、段差部300の側面301および底面302はSiC基板の〈1-100〉方向に平行とする。

【0062】図6(a)、(b)は本発明の第3の実施例における半導体レーザ素子の製造方法を示す模式的工程断面図である。なお、図6は半導体レーザ素子の共振器面に垂直な方向に沿った断面を示す。

【0063】まず、図6(a)に示すように、サファイア基板1の(0001)面上に、厚さ300ÅのアンドープのAlGaInバッファ層2および厚さ2μmのi-GaN層をエピタキシャル成長させる。次に、EB法(電子ビーム蒸着法)またはCVD法(化学気相成長法)によりi-GaN層3上にSiO<sub>2</sub>膜を形成し、フォトリソグラフィおよびフッ酸系エッチング液によるエッチングを行い、i-GaN層3上の素子形成領域の両端部側にSiO<sub>2</sub>膜30を形成する。

【0064】各SiO<sub>2</sub>膜30の素子形成領域側の一辺32は、サファイア基板1の〈11-20〉方向に平行とする。SiO<sub>2</sub>膜30の幅Dは、ダイシング等を容易に

するために20μm以上とすることが好ましい。また、SiO<sub>2</sub>膜30の厚みは0.1~3μmとすることが好ましい。以下、AlGaInバッファ層2およびi-GaN層3を第1のGaN系半導体層36と呼ぶ。

【0065】次に、図6(b)に示すように、i-GaN層3上に、厚さ5μm~10μm程度のn-GaN層4、厚さ0.1μmのn-In<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層5、厚さ0.7μmのn-Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層6、MQW発光層7、厚さ0.7μmのp-Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層8、厚さ0.05μmのp-GaNコンタクト層9を順にエピタキシャル成長させる。この場合、SiO<sub>2</sub>膜30上にはほとんど結晶成長が行われず、Alを含む厚さの薄い多結晶層31が形成される。MQW発光層7の構成は、図2に示した構成と同様である。以下、n-GaN層4からp-GaNコンタクト層9までを第2のGaN系半導体層37と呼ぶ。

【0066】なお、半導体レーザ素子においてはMQW発光層7、n-Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層6およびp-Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層8が実質的に発光に寄与するため、SiO<sub>2</sub>膜30上の多結晶層31の上端がn-Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層6の下端に達しないようにn-GaN層4からp-GaNコンタクト層9までの厚さを設定する。

【0067】以上の工程により、第2のGaN系半導体層37の結晶成長中に各SiO<sub>2</sub>膜30の一辺32に沿って第2のGaN系半導体層37の{11-20}面からなる端面が形成される。この第2のGaN系半導体層37の{11-20}面は、サファイア基板1の(0001)面および第1のGaN系半導体層36の(0001)面に対して完全に垂直に成長する。

【0068】次に、図3に示したように、p-GaNコンタクト層9からn-Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層6までの一部領域をエッチングにより除去し、n-Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層6を露出させる。

【0069】さらに、p-GaNコンタクト層9上の電極形成領域およびn-Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層6の電極形成領域を除いて、電流狭窄を行うためおよびpn接合の露出部を保護するために、p-GaNコンタクト層9の上面、p-GaNコンタクト層9からn-Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層6までの側面ならびにn-Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層6の上面にSiO<sub>2</sub>膜等からなる絶縁膜10を形成する。

【0070】最後に、p-GaNコンタクト層9の露出した電極形成領域上にp電極11を形成し、n-Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層6の露出した電極形成領域上にn電極12を形成する。

【0071】本実施例の半導体レーザ素子の製造方法においては、上記のように、第2のGaN系半導体層37の結晶成長中に、各SiO<sub>2</sub>膜30の一辺32に沿った第2のGaN系半導体層37の両端面にサファイア基板

1の(0001)面および第1のGa<sub>0.9</sub>N系半導体層36の(0001)面に対して完全に垂直な{11-20}面が形成される。したがって、第2のGa<sub>0.9</sub>N系半導体層37の{11-20}面を共振器面200として用いることが可能となる。

【0072】このように、第2のGa<sub>0.9</sub>N系半導体層37の結晶成長時に自然に形成される{11-20}面を共振器面200として用いることができるので、結晶成長後のエッチングやへき開等の複雑な工程を用いることなく、サファイア基板1の(0001)面および第1のGa<sub>0.9</sub>N系半導体層36の(0001)面に対して垂直な共振器面200を容易に形成することができる。

【0073】その結果、スロープ効率がよく、しきい値電流が低減された半導体レーザ素子を容易に得ることができるとともに、歩留りが向上する。

【0074】なお、実際の製造時には、サファイアのウエハ上に複数の半導体レーザ素子を作製した後、個々の半導体レーザ素子をダイシング等により分離する。そのため、本実施例では、サファイアのウエハ上の複数の素子形成領域間に幅2DのSiO<sub>2</sub>膜を形成し、複数の半導体レーザ素子を作製した後、SiO<sub>2</sub>膜の中心線でウエハを分離する。それにより、図6(b)および図3に示した半導体レーザ素子が得られる。

【0075】なお、図6の実施例では、基板としてサファイア基板1を用いているが、サファイア基板1の代わりに、SiC基板等の他の基板を用いてもよい。SiC基板を用いる場合には、各SiO<sub>2</sub>膜30の素子形成領域一辺32はSiC基板の<1-100>方向に平行とする。

【0076】また、図6のSiO<sub>2</sub>膜30の代わりに、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiN等の他の絶縁膜を用いてもよい。

【0077】上記第1、第2および第3の実施例では、本発明を図3に示した酸化膜ストライプ構造を有する半導体レーザ素子に適用した場合について説明したが、本発明は、セルフアライン構造を有する半導体レーザ素子、リッジ導波型構造を有する半導体レーザ素子等の他の半導体レーザ素子にも適用することができる。

【0078】図7および図8はセルフアライン構造を有する半導体レーザ素子の製造方法を示す模式的工程断面図である。なお、図7および図8は半導体レーザ素子の共振器面に平行な方向に沿った断面を示す。

【0079】図1(a)、図5(a)または図6(a)の工程の後、図7(a)に示すように、i-GaN層3上に、n-GaN層4、n-In<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラック防止層5、n-Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層6、MQW発光層7、p-Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N第1クラッド層8aおよびn-AlGa<sub>0.9</sub>N電流ブロック層18を順にエピタキシャル成長させる。

【0080】p-Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N第1クラッド層8aの厚みは約0.1~0.4μm程度とする。また、n

-AlGa<sub>0.9</sub>N電流ブロック層18の厚みは0.5μm程度とする。n-AlGa<sub>0.9</sub>N電流ブロック層18のAl組成はp-Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N第1クラッド層8aのAl組成よりも大きくする。本例では、n-AlGa<sub>0.9</sub>N電流ブロック層18のAl組成は0.20とする。

【0081】なお、各層2~6の厚さは、第1、第2または第3の実施例と同様であり、MQW発光層7の構成は図2に示した構成と同様である。

【0082】次に、図7(b)に示すように、n-AlGa<sub>0.9</sub>N電流ブロック層18上の幅2μm程度のストライプ状の領域を除いてn-AlGa<sub>0.9</sub>N電流ブロック層18上にNiマスク(図示せず)を形成し、RIE法(反応性イオンエッチング法)またはRIBE法(反応性イオンビームエッチング法)によりn-AlGa<sub>0.9</sub>N電流ブロック層18をエッチングする。それにより、n-AlGa<sub>0.9</sub>N電流ブロック層18にストライプ状の開口部が形成され、p-Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N第1クラッド層8aの幅2μm程度のストライプ状の領域が露出する。

【0083】続いて、Niマスクを除去した後、図7(c)に示すように、n-AlGa<sub>0.9</sub>N電流ブロック層18上およびp-Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N第1クラッド層8aのストライプ状の領域上に、p-Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N第2クラッド層8bおよびp-GaNコンタクト層9を順にエピタキシャル成長させる。ここで、p-Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N第1クラッド層8aとp-Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N第2クラッド層8bとの合計の厚さをn-Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層6の厚さと同程度(例えば0.7μm以上)にする。p-GaNコンタクト層9の厚さは、第1、第2または第3の実施例と同様である。

【0084】次に、図8(d)に示すように、p-GaNコンタクト層9上の所定領域にNiマスク(図示せず)を形成した後、p-GaNコンタクト層9からn-In<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラック防止層5までの一部領域をRIE法またはRIBE法によりエッチングして除去し、n-GaN層4を露出させる。

【0085】上記のエッチングの後、Niマスクを除去し、図8(e)に示すように、p-GaNコンタクト層9上にp電極11を形成し、n-GaN層4の露出した表面にn電極12を形成する。

【0086】第1、第2または第3の実施例の製造方法を図7および図8のセルフアライン構造の半導体レーザ素子に適用した場合にも、結晶成長後のエッチングやへき開等の複雑な工程を用いることなく、サファイア基板1の(0001)面に対して垂直な共振器面を容易に形成することができる。

【0087】その結果、スロープ効率がよく、しきい値電流が低減された半導体レーザ素子を容易に得ることができるとともに、歩留りが向上する。

【0088】図9はリッジ導波型構造を有する半導体レーザ素子の共振器面に平行な方向に沿った模式的断面図



である。

【0089】図9の半導体レーザ素子の製造時には、図1(a)、図5(a)または図6(a)の工程の後、i-GaN層3上に、n-GaN層2、 $n\text{-In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}$ Nクラック防止層5、 $n\text{-Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}$ Nクラッド層6、MQW発光層7、 $p\text{-Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}$ Nクラッド層8およびp-GaNコンタクト層9を順にエピタキシャル成長させる。

【0090】なお、各層2~9の厚さは第1、第2または第3の実施例と同様であり、MQW発光層7の構成は図2に示した構成と同様である。

【0091】次に、p-GaNコンタクト層9上のストライプ状の領域にストライプ状のNiマスク(図示せず)を形成し、RIE法またはRIBE法により、p-GaNコンタクト層9および $p\text{-Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}$ Nクラッド層8をエッチングする。それにより、リッジ部が形成される。

【0092】続いて、上記のNiマスクを除去した後、 $p\text{-Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}$ Nクラッド層8上の所定領域を除いて $p\text{-Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}$ Nクラッド層8およびp-GaNコンタクト層9上にNiマスク(図示せず)を形成し、 $p\text{-Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}$ Nクラッド層8からn-GaN層4までの一部領域をRIE法またはRIBE法によりエッチングして除去し、n-GaN層4を露出させる。

【0093】上記のエッチング後、Niマスクを除去し、p-GaNコンタクト層9の上面およびn-GaN層4の電極形成領域を除いて、リッジ部の両側面、 $p\text{-Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}$ Nクラッド層8の平坦部の上面、n-GaN層4の上面、および $p\text{-Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}$ Nクラッド層8からn-GaN層4までの側面に、EB法またはCVD法により $\text{SiO}_2$ 膜19を形成する。

【0094】その後、p-GaNコンタクト9上にp電極11を形成し、n-GaN層4の露出した表面にn電極12を形成する。

【0095】第1、第2または第3の実施例の製造方法を図9のリッジ導波型構造を有する半導体レーザ素子に適用した場合にも、結晶成長後のエッチングやへき開等の複雑な工程を用いることなく、サファイア基板1の(0001)面に対して垂直な共振器面を容易に形成することができる。

【0096】その結果、スロープ効率が高く、しきい値電流が低減された半導体レーザ素子を容易に得ることができるとともに、歩留りが向上する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例における半導体レーザ素子の製造方法を示す模式的工程断面図である。

【図2】図1の半導体レーザ素子におけるMQW発光層のエネルギーバンド構造図である。

【図3】本発明の第1の実施例における半導体レーザ素子の共振器面に平行な方向に沿った模式的断面図である。

【図4】サファイア基板およびその上に形成されるGaN系半導体層の面方位の関係を示す図である。

【図5】本発明の第2の実施例における半導体レーザ素子の製造方法を示す模式的工程断面図である。

【図6】本発明の第3の実施例における半導体レーザ素子の製造方法を示す模式的工程断面図である。

【図7】セルフアライン構造を有する半導体レーザ素子の製造方法を示す模式的工程断面図である。

【図8】セルフアライン構造を有する半導体レーザ素子の製造方法を示す模式的工程断面図である。

【図9】リッジ導波型構造を有する半導体レーザ素子の共振器面に平行な方向に沿った模式的断面図である。

【図10】サファイア基板およびGaN系半導体層の結晶方位の関係を示す図である。

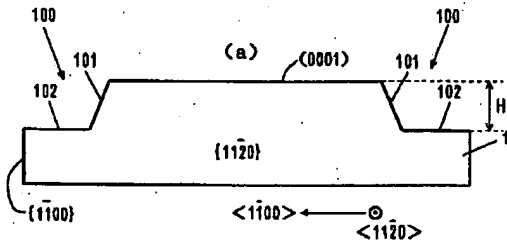
【図11】サファイア基板上に形成されたGaN系半導体層からなる従来の半導体レーザ素子の概略斜視図である。

【図12】従来のGaN系半導体レーザ素子の製造方法を示す模式的工程断面図である。

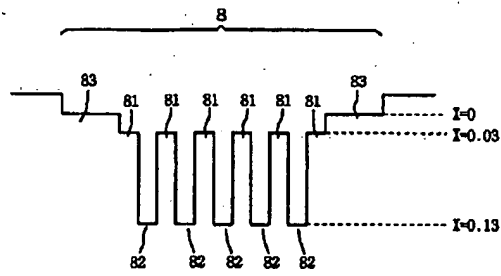
【符号の説明】

- 1 サファイア基板
- 2 AlGaNバッファ層
- 3 i-GaN層
- 4 n-GaN層
- 5  $n\text{-In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}$ Nクラック防止層
- 6  $n\text{-Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}$ Nクラッド層
- 7 MQW発光層
- 8  $p\text{-Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}$ Nクラッド層
- 8a  $p\text{-Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}$ N第1クラッド層
- 8b  $p\text{-Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}$ N第2クラッド層
- 9 p-GaNコンタクト層
- 15 窒化物系半導体層
- 16, 36 第1の窒化物系半導体層
- 17, 37 第2の窒化物系半導体層
- 18 n-AlGaN電流ブロック層
- 19, 30  $\text{SiO}_2$ 膜
- 100, 300 段差部
- 101, 301 側面
- 102, 302 底面
- 200 共振器面

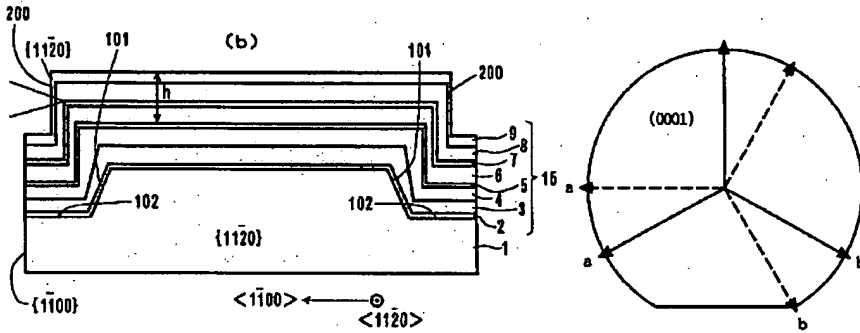
【図1】



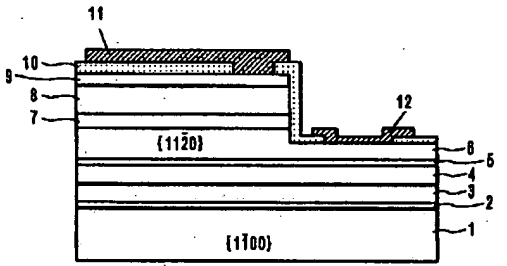
【図2】



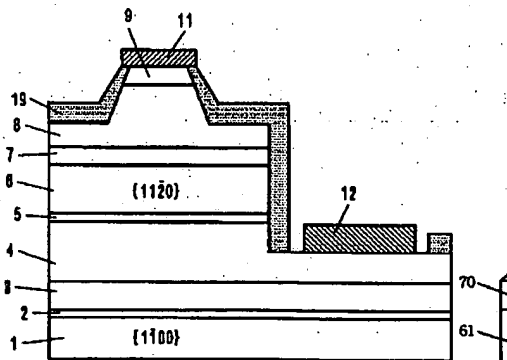
【図10】



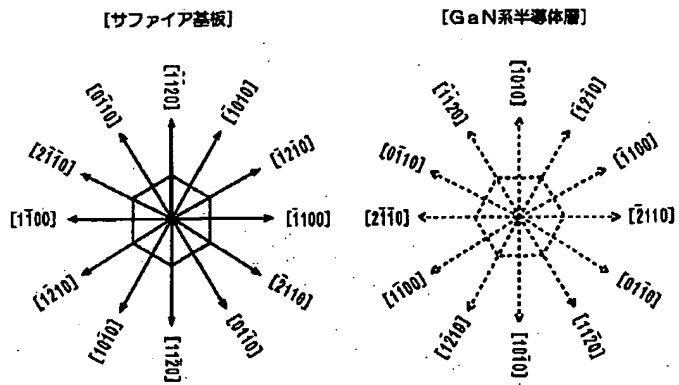
【図3】



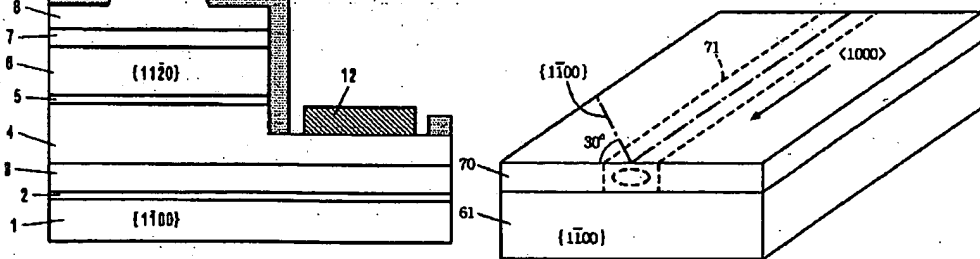
【図9】



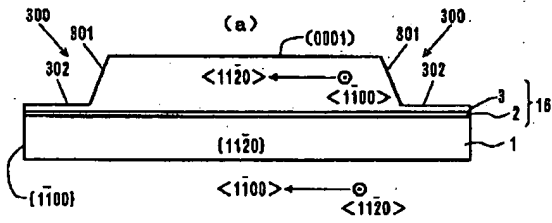
【図4】



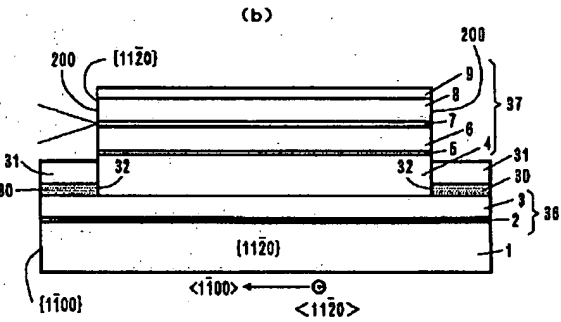
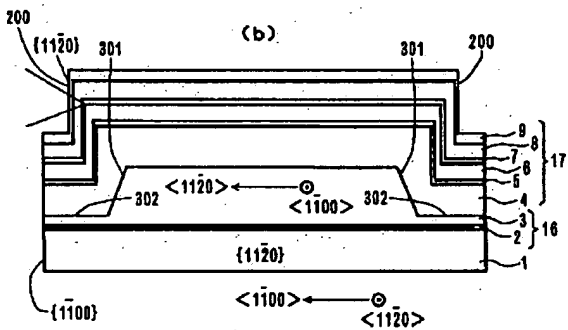
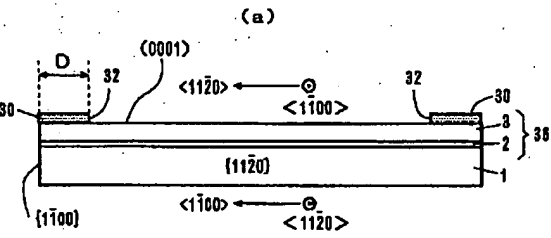
【図11】



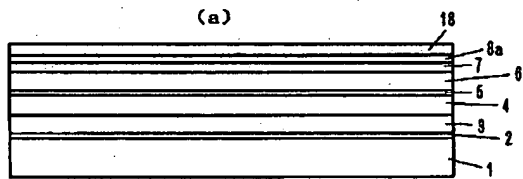
【図5】



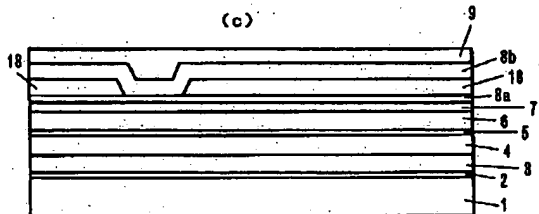
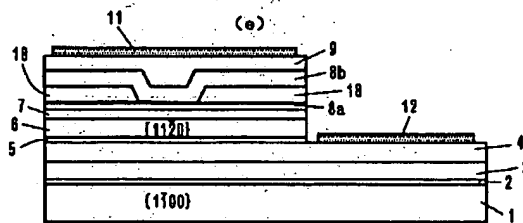
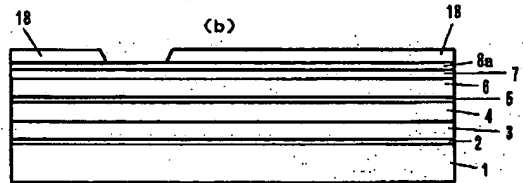
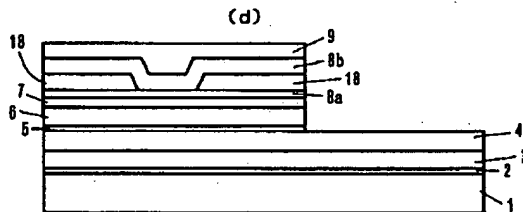
【図6】



【図7】



【図8】



【図12】

